

ХУАНЬ ЛЮ (КНР)

МЕТОД НЕЧЕТКОГО АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ ДЛЯ ВЫБОРА САЙТА ЭЛЕКТРОННОЙ КОММЕРЦИИ

Описан комбинированный подход к проблеме выбора сайта электронной коммерции, основанный на нечеткой логике. Предложен метод нечеткого анализа иерархий, в рамках которого применяется нечеткая логика, чтобы использовать результаты сравнения оценок экспертов и решить проблему выбора сайта электронной коммерции. Представлен пример использования метода.

Ключевые слова: метод нечеткого анализа иерархий; выбор сайта электронной коммерции; нечеткая логика; многокритериальное принятие решений.

This paper describes a combined approach to the problem of choosing E-commerce site based on fuzzy logic. The fuzzy hierarchy process method is proposed, which utilizes fuzzy logic to use the results of expert evaluations and comparisons to solve the problem of choosing ecommerce website. An example of using this method is presented.

Key words: fuzzy AHP; choice of E-commerce website; fuzzy logic; multicriteria decision-making.

В настоящее время в условиях бурного развития глобальных сетей широкую популярность приобрели коммерческие предприятия с электронным ведением бизнеса. Этот термин объединяет широкий спектр деятельности современных предприятий. Компании, сайты которых являются сложными для взаимодействия, как правило, плохо представлены в Интернете. Таким образом, важную роль для успешного функционирования компаний электронной коммерции играет проблема оценки их сайтов [1]. Сайт является программным продуктом, который можно рассматривать как систему с достаточно сложной структурой и функциональностью. Поэтому его значимость как базового элемента электронной коммерции невозможно оценить с позиции лишь одного критерия. В связи с этим проблема оценки сайтов относится к классу многокритериальных задач.

К решению задачи количественной оценки сайтов предлагается подход, основанный на анализе иерархий, гибкая методология которого учитывает материальные и нематериальные факторы, позволяет работать с количественными и качественными характеристиками, с объективными данными и экспертными оценками. Создан вариант метода, в котором в качестве языка формализации используется нечеткая логика. Построена иерархическая модель задачи, разработаны алгоритмы вычисления весов (для критериев и альтернатив) и принятия решений (для выбора наиболее предпочтительной альтернативы).

Метод нечеткого анализа иерархий

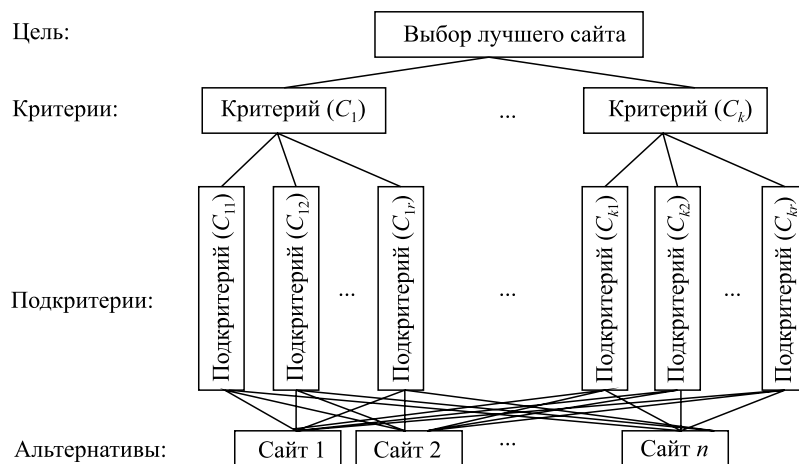
Метод нечеткого анализа иерархий состоит из следующих подготовительных и основных этапов.

Выбор системы критериев для оценки качества сайта

Анализ литературы показывает, что при решении проблемы применяется, как правило, не более 30 различных типов критериев. Предлагается использовать двухуровневую систему критериев, при этом на первом уровне располагаются основные критерии, определяющие глобальные свойства сайтов, а на втором – группы подкритериев, которые уточняют специфику каждого из основных критериев. Такой вариант системы критериев позволяет связать их с функциональным наполнением сайтов и более точно понимать значимость каждого из критериев.

Общая структура многокритериальной модели оценки сайта

В результате иерархическая модель для решения поставленной задачи будет состоять из четырех уровней. Общая схема такой модели приведена на рисунке [2, 3].



Построение модели иерархии для оценки сайта

Алгоритм вычисления весов критериев может быть описан несколькими основными шагами.

Шаг 1. Строятся матрицы сравнений между всеми парами критериев, входящих в иерархическую систему. Элементы таких матриц определяются в терминах лингвистических переменных, задающих степень важности одного критерия по отношению к другому [4]:

$$\tilde{A} = [\tilde{a}_{ij}] = \begin{matrix} & \begin{matrix} C_1 & C_2 & \dots & C_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & \dots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & 1 & \dots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} = \begin{matrix} & \begin{matrix} C_1 & C_2 & \dots & C_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & \dots & \tilde{a}_{1n} \\ 1/\tilde{a}_{12} & 1 & \dots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/\tilde{a}_{1n} & 1/\tilde{a}_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix} \end{matrix},$$

где

$$\tilde{a}_{ij} = \begin{cases} \tilde{1}, \tilde{3}, \tilde{5}, \tilde{7}, \tilde{9} & \text{степень важности критерия } i \text{ относительно критерия } j; \\ 1 & i = j; \\ \tilde{1}^{-1}, \tilde{3}^{-1}, \tilde{5}^{-1}, \tilde{7}^{-1}, \tilde{9}^{-1} & \text{обратная степень важности.} \end{cases}$$

Шаг 2. Вычисляется средний вес критерия с использованием формулы Бакли [5], основанный на построении геометрического среднего:

$$\tilde{w}_i = \tilde{r}_i \otimes (\tilde{r}_1 \oplus \dots \oplus \tilde{r}_n)^{-1}, \quad \tilde{r}_i = (\tilde{a}_{i1} \otimes \tilde{a}_{i2} \otimes \dots \otimes \tilde{a}_{in})^{1/n},$$

где \tilde{a}_{in} – нечеткое сравнение i -го критерия с одним из n критериев.

Таким образом, величина \tilde{r}_i является средним геометрическим от нечеткого сравнения значения i -го критерия со всеми остальными критериями, а величина \tilde{w}_i – нечетким весом i -го критерия.

Нечеткий вес может быть описан с помощью ТНЧ, $\tilde{w}_i = (Lw_i, Mw_i, Uw_i)$. Здесь Lw_i , Mw_i и Uw_i соответственно нижнее, среднее и верхнее значение нечеткого веса i -го критерия.

Пример использования метода

Работоспособность предложенного метода проверена на примере решения прикладной задачи. Численный эксперимент проводился с использованием функциональных возможностей программной среды системы Matlab 7. С позиции формальной задачи в данной ситуации необходимо произвести оценку и ранжирование пяти альтернатив (обозначим их соответственно как А-1, А-2, А-3, А-4, А-5) и на основе этого принять соответствующее решение.

Опишем поэтапный процесс решения задачи.

Этап 1. Построение модели и оценка критериев

Шаг 1. Сначала построим модель задачи в виде иерархической структуры. В результате имеем 3 критерия и 12 подкритериев, обозначим их соответственно через C_1, C_2, C_3 и $C_{11}, C_{12}, \dots, C_{33}, C_{34}$.

Шаг 2. Теперь можно произвести расстановку приоритетов путем определения весов критериев и подкритериев. Обозначим их соответственно через E_1, E_2, \dots, E_5 .

Экспертам предлагалось выполнить парное сравнение критериев и подкритериев, используя для этого значения лингвистических переменных со значениями: *значительно лучше, лучше, равны, хуже* и *значительно хуже*.

Шаг 3. От матриц парных сравнений переходим к матрицам с нечеткими числами. Лингвистические переменные заменим соответствующими нечеткими числами:

$$\begin{array}{ccc} \begin{array}{c} C_1 \quad C_2 \quad C_3 \\ C_1 \begin{bmatrix} 1 & \tilde{3} & \tilde{7} \\ \tilde{3}^{-1} & 1 & \tilde{3} \\ \tilde{7}^{-1} & \tilde{3}^{-1} & 1 \end{bmatrix} \\ E^1 \end{array} & \begin{array}{c} C_1 \quad C_2 \quad C_3 \\ C_1 \begin{bmatrix} 1 & \tilde{1} & \tilde{5} \\ \tilde{1}^{-1} & 1 & \tilde{3} \\ \tilde{5}^{-1} & \tilde{3}^{-1} & 1 \end{bmatrix} \\ E^2 \end{array} & \begin{array}{c} C_1 \quad C_2 \quad C_3 \\ C_1 \begin{bmatrix} 1 & \tilde{3}^{-1} & \tilde{7} \\ \tilde{3} & 1 & \tilde{3} \\ \tilde{7}^{-1} & \tilde{3}^{-1} & 1 \end{bmatrix} \\ E^3 \end{array} \\ \\ \begin{array}{c} C_1 \quad C_2 \quad C_3 \\ C_1 \begin{bmatrix} 1 & \tilde{3}^{-1} & \tilde{9} \\ \tilde{3} & 1 & \tilde{5} \\ \tilde{9}^{-1} & \tilde{5}^{-1} & 1 \end{bmatrix} \\ E^4 \end{array} & \begin{array}{c} C_1 \quad C_2 \quad C_3 \\ C_1 \begin{bmatrix} 1 & \tilde{5}^{-1} & \tilde{1} \\ \tilde{5} & 1 & \tilde{1}^{-1} \\ \tilde{1}^{-1} & \tilde{1} & 1 \end{bmatrix} \\ E^5 \end{array} & \end{array}$$

Шаг 4. Ранее отмечалось, что значения оценок, так же как и определение самой лингвистической переменной, зависят от субъективного опыта и знаний экспертов. Поэтому для интеграции оценок, полученных от различных экспертов, используем понятие нечеткого среднего значения, которое вычисляется по формуле

$$\tilde{a}_{ij} = (\tilde{a}_{ij}^1 \otimes \tilde{a}_{ij}^2 \otimes \tilde{a}_{ij}^3 \otimes \tilde{a}_{ij}^4 \otimes \tilde{a}_{ij}^5)^{1/5}.$$

Далее в качестве нечетких чисел использовались нечеткие треугольные числа. С учетом этого формула для вычисления, например, \tilde{a}_{12} приняла вид

$$\begin{aligned}\tilde{a}_{12} &= (\tilde{3} \otimes \tilde{1} \otimes \tilde{3}^{-1} \otimes \tilde{3}^{-1} \otimes \tilde{5}^{-1})^{1/5} = \left((1, 3, 5) \otimes (1, 1, 3) \otimes \left(\frac{1}{5}, \frac{1}{3}, 1\right) \otimes \left(\frac{1}{5}, \frac{1}{3}, 1\right) \otimes \left(\frac{1}{7}, \frac{1}{5}, \frac{1}{3}\right) \right)^{1/5} = \\ &= \left(\left(1 \cdot \frac{1}{5} \cdot \frac{1}{5} \cdot \frac{1}{7}\right)^{1/5}, \left(3 \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{5}\right)^{1/5}, \left(5 \cdot 3 \cdot 1 \cdot \frac{1}{3}\right)^{1/5} \right) = (0, 356, 0, 582, 1, 380).\end{aligned}$$

Шаг 5. Затем вычислялись величины \tilde{r}_i – среднее геометрическое от нечеткого сравнения значения i -го критерия со всеми остальными:

$$\begin{aligned}\tilde{r}_1 &= (\tilde{a}_{11} \otimes \tilde{a}_{12} \otimes \tilde{a}_{13})^{1/3} \\ &= ((1, 1, 1) \otimes (0, 356; 0, 582; 1, 380) \otimes (0, 181; 0, 214; 0, 336))^{1/3} \\ &= \left((1 \cdot 0, 356 \cdot 0, 181)^{1/3}, (1 \cdot 0, 582 \cdot 0, 214)^{1/3}, (1 \cdot 1, 380 \cdot 0, 336)^{1/3} \right) \\ &= (0, 401; 0, 499; 0, 774).\end{aligned}$$

На основе геометрических средних были определены средние веса критериев и подкритериев.

$$\begin{aligned}\tilde{w}_1 &= \tilde{r}_1 \otimes (\tilde{r}_1 \oplus \tilde{r}_2 \oplus \tilde{r}_3) \\ &= (0, 401; 0, 499; 0, 774) \otimes ((0, 401; 0, 499; 0, 774) \oplus (0, 898; 1, 661; 2, 237) \oplus (0, 916; 1, 206; 1, 768))^{-1} \\ &= (0, 401; 0, 499; 0, 774) \otimes \left(\frac{1}{0, 774 + 2, 237 + 1, 768}, \frac{1}{0, 499 + 1, 661 + 1, 206}, \frac{1}{0, 401 + 0, 898 + 0, 916} \right) \\ &= (0, 401; 0, 499; 0, 774) \otimes (0, 209; 0, 297; 0, 451) \\ &= (0, 084; 0, 148; 0, 349).\end{aligned}$$

И аналогично

$$\tilde{w}_2 = (0, 188; 0, 493; 1, 009), \quad \tilde{w}_3 = (0, 191; 0, 358; 0, 797).$$

Шаг 6. С использованием метода СОА были вычислены BNP нечеткого веса для каждого критерия. Так величина BNP для критерия C_1 равна

$$BNP_{w_1} = \frac{[(UR_1 - LR_1) + (MR_1 - LR_1)]}{3} + LR_1 = \frac{[(0, 349 - 0, 084) + (0, 148 - 0, 084)]}{3} + 0, 08 = 0, 194.$$

Аналогичным способом были получены величины BNP для всех остальных критериев и подкритериев. Все результаты приведены в таблице.

Этап 2. Построение обобщенных оценок альтернатив

При переходе к нечетким треугольным числам оценку лингвистических переменных проводят, как правило, на основе опроса экспертов. Они высказали свои субъективные суждения относительно вариации лингвистических переменных, используя числовую шкалу в диапазоне от 1 до 100. На данном шаге проводился обобщенный синтез суждений, полученных от всех экспертов. В результате были получены обобщенные нечеткие значения экспертных оценок альтернатив по каждому из критериев.

Например, для альтернативы А-1 (см. таблицу) обобщенное (среднее) нечеткое значение суждений экспертов с использованием критерия C_{11} определялось следующим образом.

Шаг 1. Эксперты высказывали свои суждения относительно альтернативы А-1 по критерию C_{11} с использованием выражений «очень хорошо (ОХ)», «хорошо (Х)», «нормально (Н)», «плохо (П)», «очень плохо (ОП)», которые соответствуют лингвистическим переменным:

$$\begin{array}{ccccc} E^1 & E^2 & E^3 & E^4 & E^5 \\ [H & H & H & X & H] \end{array} = \begin{array}{ccccc} E^1 & E^2 & E^3 & E^4 & E^5 \\ [(35, 45, 70) & (30, 50, 70) & (38, 48, 65) & (80, 85, 90) & (45, 60, 75)] \end{array}$$

Шаг 2. Например, элемент матрицы \tilde{E}_{11}^1 (обобщенная нечеткая оценка альтернативы А-1 по критерию C_{11}) был вычислен по формуле

$$\tilde{E}_{11}^1 = (LE_{11}, ME_{11}, UE_{11}) = \left(\frac{\left(\sum_{k=1}^5 LE_{11}^k \right)}{5}, \frac{\left(\sum_{k=1}^5 ME_{11}^k \right)}{5}, \frac{\left(\sum_{k=1}^5 UE_{11}^k \right)}{5} \right) = (45, 7; 57, 5; 74, 0).$$

Этап 3. Ранжирование альтернатив

Используя веса критериев и обобщенные нечеткие оценки альтернатив, можно получить и затем соответствующим образом обработать нечеткие решения для заданного списка альтернатив. Аналогичным образом были получены значения BNP для всех альтернатив с целью их последующего сравнения (см. таблицу).

Оценки и ранги

Альтернативы	BNP _i	Ранги
A-1	161,23	3
A-2	145,17	4
A-3	140,08	5
A-4	169,56	2
A-5	176,21	1

Из результатов оценки альтернатив видно, что наилучшей по весу является альтернатива под номером 1. Результаты отражают известный факт: изменения весов критериев в определенной степени влияют на результаты ранжирования. Понятно, что порядок ранжирования в целом зависит от весов критериев, которые используются для оценки альтернатив.

Данное исследование было частично проведено в рамках Проекта науки и техники при финансировании Департаментом образования провинции Хэйлунцзян, Китай (№ 12541150).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Lee S., Koubek R. J. The effects of usability and web design attributes on user preference for E-commerce websites // Computers in Industry. 2010. Vol. 61 (4). P. 329–341.
2. Liu H., Krasnoproshin V. V., Zhang S. Fuzzy analytic hierarchy process approach for E-commerce websites evaluation // World Scientific Proceedings Series on Computer Engineering and Information Science. 2012. Vol. 6 : Method for Decision Making in an Uncertain Environment. P. 270–285.
3. Shakah G., Krasnoproshin V. V., Valvachev A. N. Fuzzy active systems management under uncertainty // Intern. J. of Computing. 2008. Vol. 7, № 3. P. 95–98.
4. Van-Laarhoven P. J. M., Pedrycz W. A fuzzy extension of Saaty's priority theory // Fuzzy sets and systems. 1983. Vol. 11, № 1. P. 199–227.
5. Buckley J. J. Fuzzy hierarchical analysis // Fuzzy sets and systems. 1985. Vol. 17, № 3. P. 233–247.

Поступила в редакцию 20.06.2014.

Хуань Лю – старший преподаватель кафедры разработки программного обеспечения Харбинского научно-технического университета (КНР), аспирант кафедры информационных систем управления. Научный руководитель – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационных систем управления В. В. Краснопрошин.